

계층화 진단 기법을 적용한 플랜트 조기경보 시스템

(주)테크다스 대표이사 고흥철

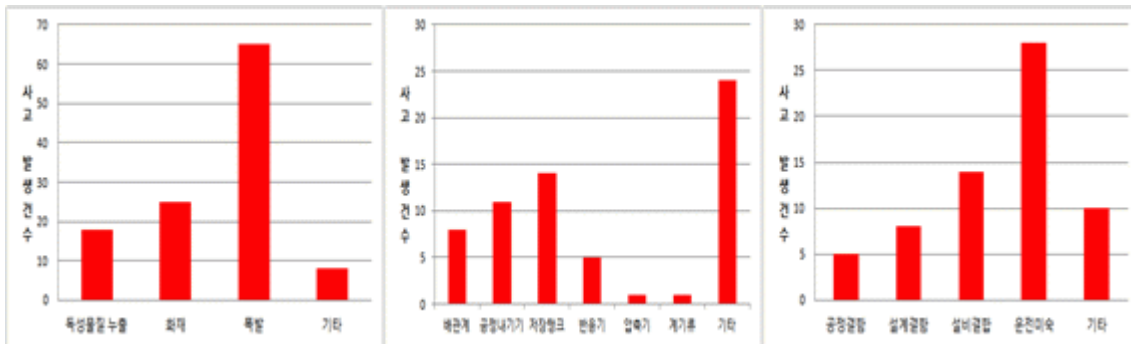
1. 플랜트 조기경보 시스템

최근 대형 안전사고가 잇따름에 따라 사고는 더 이상 개인이나 기업만의 문제가 아니라 범국가적 이슈로 다뤄지게 되었다. 여러 산업 분야에서 안전사고 예방을 위해 대비책을 마련하고 있듯이 플랜트를 운영하는 기업들 또한 그 어느 때보다도 안전관리에 인적, 물적 투자를 집중하고 있다. 하지만 크고 작은 사고들이 끊이지 않으며, 급기야 정부가 나서서 사고가 나면 기업의 문을 닫겠다고 으름장을 놓고 있다. 이제는 플랜트의 안전사고는 기업의 생존과 직결된 문제가 되었다.

기업은 생산 원가절감을 위해 플랜트들을 통합하고 대규모화해야 하는데, 플랜트가 복잡해지고 대규모화 되면 될수록 그만큼 사고 발생 가능성이 높아지기 때문에 망설이지 않을 수 없다. 본고에서는 생산 효율과 사고 방지의 두 마리 토끼를 잡아야 하는 환경적 현실에서 하나의 대안으로서 발전플랜트, 정유공장, 화학공장, 시멘트공장 등의 플랜트 산업에 조기 경보시스템을 소개하고자 한다.

2. 기존 경보시스템의 한계

EEMUA(Engineering Equipment and Materials Users Association)에서는 장기간에 걸친 산업현장 사고 발생 기록을 조사하여 그 유형과 장치, 원인을 분석한 결과를 내놓았다. <그림 1>에서 알 수 있듯이 폭발이 가장 빈도가 높았고, 다음은 화재. 독극물 누출 순이었다. 사고가 발생하면 설비 손상과 인명 사고는 불가피한 것으로 해석된다. 사고는 특별한 설비에 집중된 것이 아니라 플랜트를 구성하는 모든 설비에서 발생하였다. 또한 운전 미숙이 차지하는 비중이 가장 높았다.



<그림 1 > 사고 유형, 장치 및 원인

플랜트에는 안전을 위한 각종 장치가 설치되어 있지만 한계가 있다. 플랜트를 제어하는

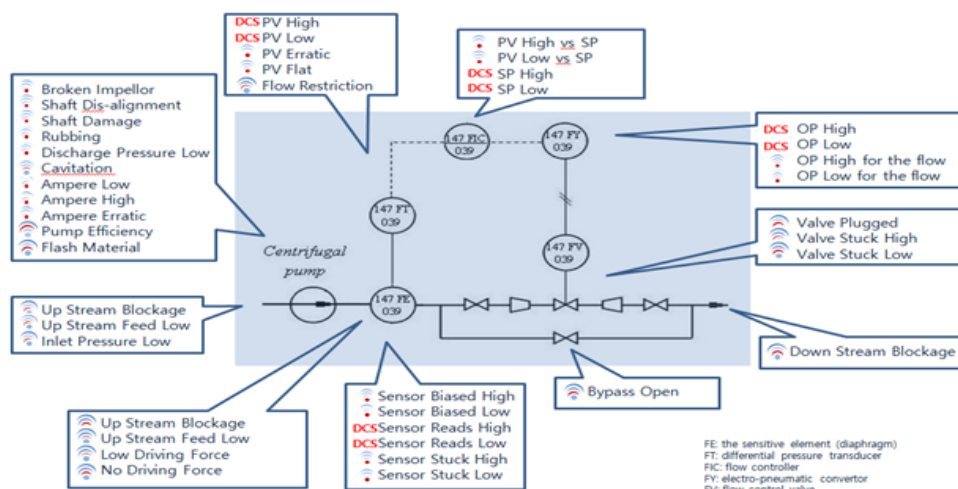
DCS(Distributed Control System)와 PLC(Programmable Logic Control)와 같은 플랜트 운전시스템은 운전변수의 감시와 제어를 강조하고, 컴퓨터의 부하를 증대하는 어떠한 로직이나 계산을 허용하지 않는다. DCS와 PLC에서 일반적으로 사용하는 안전장치는 운전 상태가 사전에 입력된 설정 값보다 크거나 작을 경우에 경보를 발생하는 초급 수준이다. 플랜트 이상을 조기에 감지하기 위해서 설정 값의 범위를 좁게 하는 방법도 가능하겠지만 이는 잦은 경보를 발생하여 운전원의 업무 부하를 증가시켜 결과적으로 원활한 운전을 방해한다. 그래서 EEMUA에서는 이를 인간공학적으로 분석하여 <표 1>과 같은 경보 설정 기준을 마련하였다.

<표 1 > 경보 설정 기준

| 경보 수준 | 설정 기준 |
|--------------------|---------------|
| Emergency Priority | 매우 드물게 |
| High Priority | 8시간 동안 5회 이하 |
| Medium Priority | 8시간 동안 8회 이하 |
| Low Priority | 1시간 동안 10회 이하 |

24명의 목숨을 앗아간 1990년대 미국의 Texaco 정유공장 화재 폭발 사례를 통해 DCS나 PLC의 단순 경보만으로는 사고의 원인을 조기에 찾는 데 한계가 있음을 알 수 있다. 사고 당시 초기 10분 동안 275개 경보가 폭주하여 두 명의 운전자가 원인을 적시에 파악할 수 없었다.

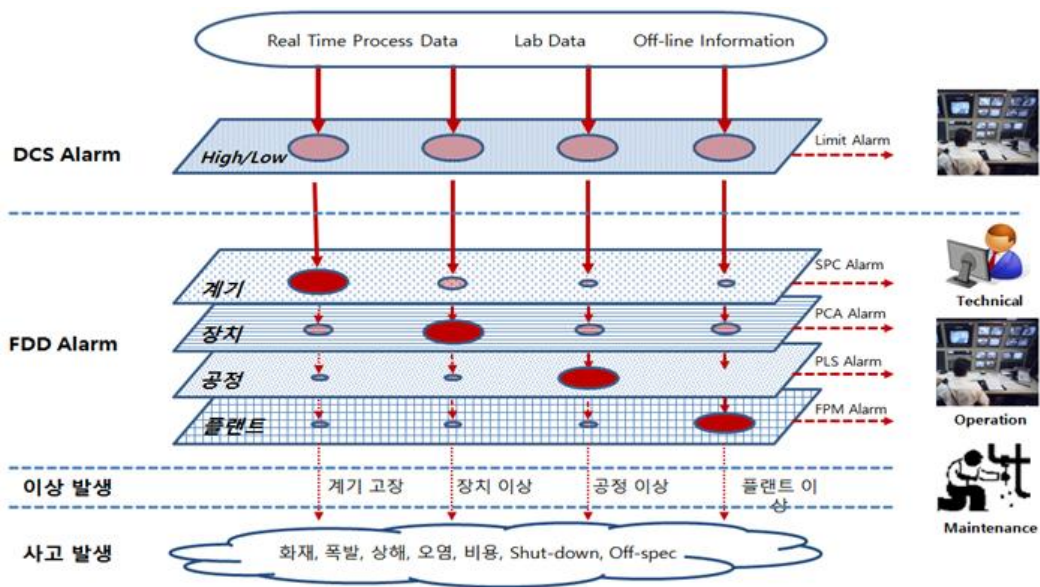
<그림 2>는 플랜트에 가장 보편적인 펌프관련 설비에 대해서 발생 가능한 고장을 나타내 보았다. 단위설비 하나에도 수십 가지의 고장이 발생할 수 있다. 이와 같은 설비가 수백 개에서 수천 개로 구성되어 있는 보통의 플랜트로서는 단순한 High/Low의 경보 방식의 DCS 와 PLC만으로는 플랜트 이상을 모두 조기에 감지하는 것이 사실상 어렵다는 것을 알 수 있다. 별도의 기술적 조기 경보시스템의 설치가 필요한 이유이다.



<그림 2 > 펌프 이상 사례

3. 새로운 조기 경보시스템

현재 별도의 시스템으로 조기 경보시스템이 상용화되어 있지만, 대개 1~2가지 진단기법을 적용해 특화된 고장에만 초점을 맞추고 있다. 대부분의 고장은 사소한 부품 결함에서 시작하므로 최초의 원인을 감시하기 위해서는 플랜트의 모든 구성 요소를 감시해야 하는 취지에는 미흡하다. 여기서 제안할 수 있는 방식은 <그림 3>과 같이 여러 가지 고장 진단 기법을 체계적으로 사용하여 계기 수준, 장치 수준, 공정 수준, 플랜트 수준 별로 발생 가능한 모든 유형의 고장을 진단하는 계층적 접근법(MLA, Multi Layered Approach)이다. 각각의 구성 요소에 대해서 간단히 살펴보기로 한다.

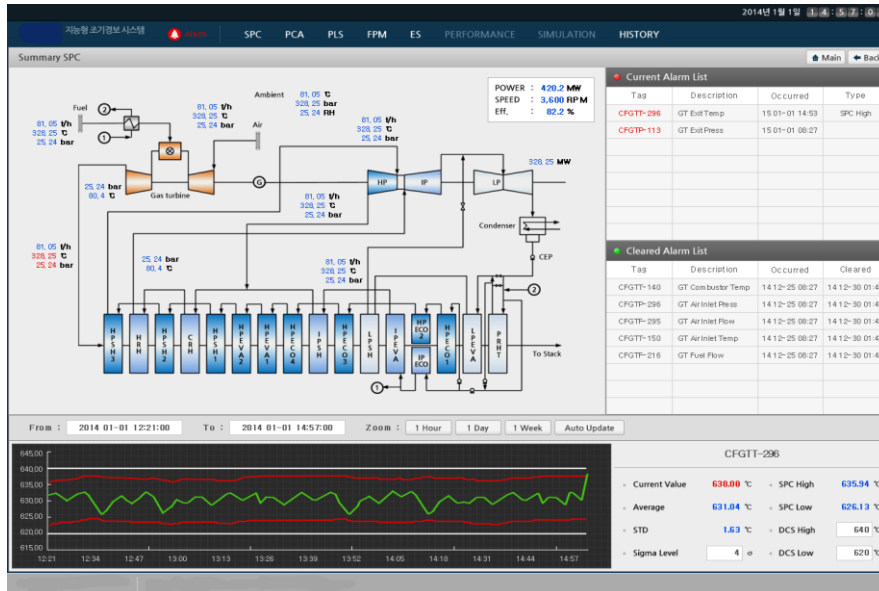


<그림 3> 계층적 접근법의 조기 경보시스템

1단계: 계기단위에서는 <그림 4>에서와 같이 한 측정계기의 시간적인 수치 변화를 통계적으로 분석하여 이상을 감지한다. 계기단위에서는 측정계기의 고장이나 플랜트 구성 요소의 결함을 발생 원점에서 감지함으로써 DCS나 PLC보다 먼저 감지한다. 예를 들어 펌프가 가동 중임에도 유해성 물질을 보관하는 탱크 액위(Level)에 변화가 없다면, 즉, 시계열의 표준편차가 0이라면 계측기가 고착되어 있다고 판단할 수 있다. 이때 DCS나 PLC는 액위가 설정값 범위 내에 있는 한 경보를 울리지 않는다.

2단계: 장치수준에서는 장치나 계기 고장이 장치 수준으로 확대되었을 때 <그림 5>와 같이 장치에 구축된 측정값들의 상관관계를 분석하여 고장을 감지한다. 계기단위에서 감지에 비해 시간지연이 있다. 이상 발생의 원점에 측정계기가 없거나, 계기단위의 기법으로 감지하지 못했을 경우에 해당한다. 예를 들어 배관에 이물질이 끼여 유량이 제대로 형성되지 않을 때 펌프의 전류와 유량간의 상관관계가 비정상적으로 나타난다. 보일러의 급수가 일정한 가운데 연료 유량이 증가하면

스팀의 온도가 증가하여야 하는데 만약 반대로 떨어진다면 보일러 장치의 상관관계가 비정상적으로 나타난다. 비정상적인 상관관계는 장치의 이상을 의미한다.



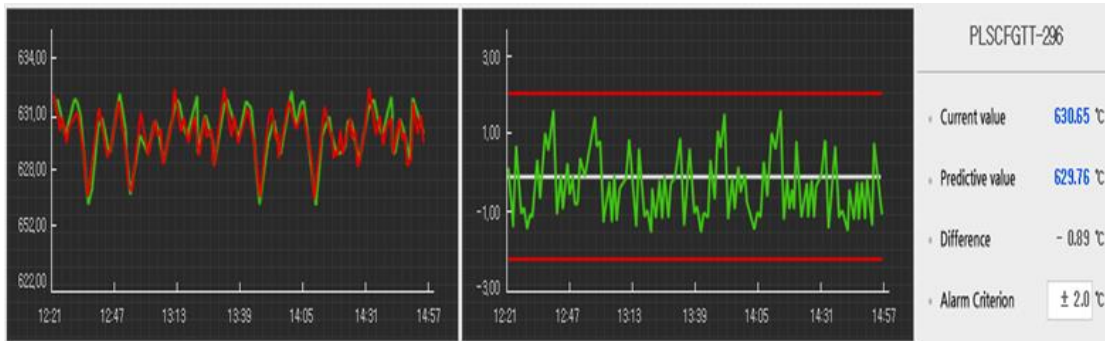
<그림 4 > 계기단위 진단



<그림 5 > 장치단위 진단

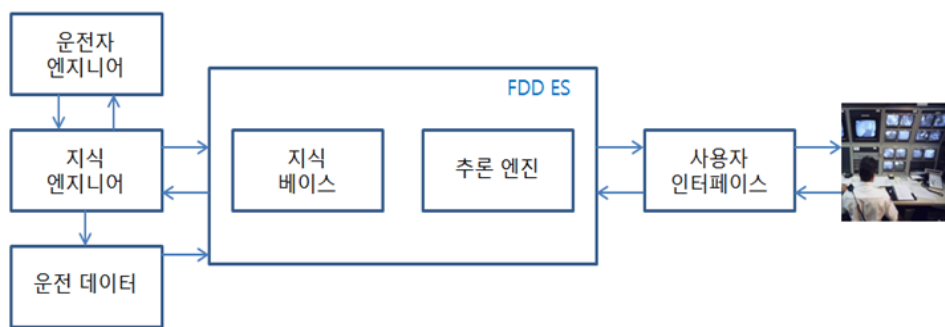
3단계: 계기단위와 장치단위에서 감지되지 않은 채 공정단위로까지 확대된 이상을 감지한다. 계기 단위와 장치단위보다 뒤늦게 발생한다. 연료의 성분이 바뀌거나, 설비의 효율이 떨어졌을 때 계기 나 장치는 정상적으로 작동하는 것처럼 보이지만, 공정 전체적으로는 변화가 발생한다. 이 단계에서 사용하는 기술은 공정상에 설치되어 있는 다수의 계측값들을 통해 중요 변수를 예측하고 <그

림 6>과 같이 차이의 크기를 분석하여 이상을 감지한다. 통계적 방법과 물리적 이론식에 의한 방법이 있다.



<그림 6 > 공정단위 진단

4단계: 1~3단계가 이론적인 또는 통계적인 수학적 모델에 의한 방법이라면 4단계는 운전자 또는 설계자의 경험적 지식을 이용하는 방법이다. 대부분 플랜트 수준의 광범위한 이상 진단에 적용한다. 경험적 지식은 전문가 시스템(Expert System)으로 구성되는데 고장의 원인과 증상 사이의 직접적인 관계를 표현한다. 전문가 시스템은 경험 많은 운전자의 지식을 얼마나 많이 담았느냐에 따라 성능이 달라진다. 특히 과거에 일어난 사고는 대표적인 소재이다. 전문가 시스템은 <그림 7>과 같이 플랜트를 상시 모니터링 한다. 4단계 예를 들어보면 보일러의 산소 농도가 떨어졌을 때 운전자가 온도를 올리기 위하여 공기 밸브를 급격히 연다면 어떻게 될까? 아마 50%는 대형 폭발 사고로 이어질 것이다. 운전자가 공기 밸브를 열려고 시도하는 순간 폭발의 위험성을 경고하여야 한다.



<그림 7 > 전문가 시스템 구조

4. 제언

사고확률이 0%인 플랜트는 없다. 플랜트가 운전되고 있는 한 언제든지 그리고 어느 곳에 서든지 사고는 일어날 수 있다. 그렇다고 사고 예방이 불가피한 것만은 아니다. 한 통계에 의하면 사고의

90%는 단순 계기나 사람의 실수에 의한 것이라고 한다. 이러한 고장은 발생 초기에 발견했다면 사고로까지 이어지기 이전에 조치가 가능한 것이었다. 현재의 기술력으로 사고 발생을 제도화할 수는 없지만 그 발생 확률을 줄일 수는 있다. 기능적으로 초급 수준인 DCS와 PLC의 경보시스템에 별도로 플랜트 조기 경보시스템의 설치를 제안한다. 특히 플랜트 이상 발생의 시간적 그리고 공간적 전파를 고려하여 계층화된 진단 기법의 적용을 제안하고자 한다. 설계상의 실수, 운전 조작 미숙, 장치 결함, 제어시스템 손상 등 그 원인이 다양하므로 모든 경우에 적용할 수 있는 조기 경보기술은 존재하지 않는다. 따라서 효과적인 조기 경보시스템은 고장 원인 별 특성을 고려하여 이에 적합한 별도의 진단기법을 활용하는 것이 최선이다. 플랜트의 안전사고는 이제 기업의 존폐까지 위협하는 중차대한 문제로 다루어 지고 있다. 하드웨어 적인 보강 장치도 필요하겠지만, 병행하여 조기 경보시스템 설치와 같은 소프트웨어 적인 보강도 병행하여 사고가 없는 플랜트 운전이 이루어지길 바란다.